

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрических сетей и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оценка эффективности методов определения электрического центра качаний

УДК 621.311.004-5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Корольков Дмитрий Павлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Абеуов Р.Б.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электрических сетей и электротехники	Прохоров А.В	К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

Результаты обучения
профессиональные и общекультурные компетенции
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиль «Электроэнергетические системы и сети»

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 3	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ЭНИН

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

Прохоров А.В.

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Корольков Дмитрий Павлович

Тема работы:

Оценка эффективности методов определения электрического центра качаний	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 27.04.2016 г. № 3266/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Схемы энергосистем различной конфигурации;2. Исходные и расчетные параметры схемы: мощности нагрузки и генерации, каталожные данные оборудования, параметры генерирующих узлов.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Разбор понятия асинхронного режима (хода), его характеристик, особенностей и последствий; 2. Обоснования актуальности работы; 3. Теоретический обзор существующих способов определения ЭЦК; 4. Оценка эффективности методов определения ЭЦК; 5. Вывод о наиболее практичном способе определения ЭЦК.
Перечень графического материала	1. Схемы нормального режима; 2. Схемы аварийного режима; 3. Годографы сопротивлений.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Ассистент кафедры менеджмента – Грахова Елена Александровна
«Социальная ответственность»	Доцент кафедры ЭБЖ – Амелькович Юлия Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Абеуов Р.Б.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Корольков Дмитрий Павлович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО		
5А2Г	Корольков Дмитрий Павлович		
Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	НТИ выполняется на базе ТПУ с использованием оборудования университета, количество исполнителей НТИ – 2 человека (Руководитель и инженер)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 Нормирование расхода материала. Основные положения; ГОСТ 51541-99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	НТИ выполнено в рамках выпускной квалификационной работы, разработка устава не требуется
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование НТИ, расчет бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение ресурсной эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Линейный план-график работ
2. Бюджет затрат

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Корольков Дмитрий Павлович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А2Г	Корольков Дмитрий Павлович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	«Электроэнергетика и электротехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочая зона: офисное здание в Томске, работы производятся по средствам персональных компьютеров.</p> <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физические: уровень шума (монотонный), электро-магнитное излучение, отсутствие или недостаток естественного света, повышенная температура воздуха, влажность воздуха, скорость движение воздуха, тепловое излучение, недостаточная освещенность рабочей зоны; – психофизические: ограниченная двигательная активность, монотонность труда. <p>Опасные факторы: поражение электрическим током.</p> <p>Чрезвычайные факторы: техногенного характера.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. - ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. - СНиП 21 – 01 – 97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на 	<p>Физические факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электромагнитное и ионизирующее излучение; – микроклимат; – освещение; – шумы и вибрация; <p>Психофизические факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенная нагрузка на органы зрения;
--	---

<p>соответствующий нормативно-технический документ);</p> <ul style="list-style-type: none"> – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> – длительные статические нагрузки; монотонность труда.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Электробезопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током. <p>Пожаровзрывобезопасность :</p> <ul style="list-style-type: none"> – неисправность ПЭВМ.
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Техногенные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Регламент работ, продолжительность рабочего дня; – Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.
Перечень графического материала:	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А2Г	Корольков Д.П.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 113 страниц, 14 рисунков, 17 таблиц, 4 приложения.

Ключевые слова: асинхронный ход, противоаварийная автоматика, аварийный режим, асинхронный режим, методика, электрический центр качаний.

Объектом исследования являются место ЭЦК на линиях 220 кВ в схемах различной конфигурации.

Целью данной работы является оценка эффективности методов определения ЭЦК, выявления наиболее практичного из них и составлению доступной и понятной методики по определению ЭЦК.

В ходе выполнения работы использовались программные комплексы RastrWin3, Mustang и «Dakar», а также программный пакет Microsoft Office (Word, Exel).

Проделанная работа позволила выяснить наиболее эффективный и практичный метод определения электрического центра качаний, что позволит улучшить работу противоаварийной автоматики и упростить работу специалистов.

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы как в проектных бюро, при определении мест установки делительной автоматики и определении опасных сечений, а также в образовательных учреждениях для обучения определения мест расположения электрического центра качаний.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1. ПОНЯТИЯ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА КАЧАНИЙ	14
1.1 Понятие асинхронный режим	14
1.2 Асинхронный режим в одномашинной энергосистеме	16
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЦК	22
2.1 Определение ЭЦК в ПК DAKAR	22
2.2 Определение ЭЦК по методу ТМН	25
2.3 Определение ЭЦК с помощью режимных параметров в АР	29
2.4 Определение ЭЦК с помощью программного комплекса Mustang и полного сопротивления линий в АР	30
2.5 Определение ЭЦК графическим методом с помощью годографа сопротивлений	31
3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЦК... Ошибка! Закладка не определена.	
3.1 Методика определения ЭЦК с помощью ПК DAKAR	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Методика определения ЭЦК с помощью метода ТМН	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.1 Методика определение ЭЦК в одномашинной схеме методом ТМН	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.2 Методика определение ЭЦК в одномашинной схеме с промежуточной нагрузкой методом ТМН	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Методика определения ЭЦК с помощью режимных параметров в АР	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Методика определения ЭЦК с помощью полного значения сопротивления	Ошибка! Закладка не определена.
3.5 Методика определения ЭЦК с помощью годографа	Ошибка! Закладка не определена.
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	33
4.1 Техничко-экономическое обоснование НТИ	33
4.2 Планирование НТИ	34
4.3 Расчет бюджета НТИ	37
4.3.1 Материальные затраты	38
4.3.2 Расходы на оплату труда	38
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	40

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	40
4.3.5 Накладные расходы	41
4.3.6 Формирование бюджета затрат НТИ.....	42
4.4 Определение ресурсной эффективности НТИ.....	42
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.1 Микроклимат	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.2 Производственное освещение	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.3 Шумы и мероприятия по их снижению ...	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.4 Электромагнитные поля.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	Ошибка! Закладка не определена.
5.2.1 Поражение электрическим током	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Охрана окружающей среды	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.1 Пожаробезопасность	Ошибка! Закладка не определена.
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Ошибка! Закладка не определена.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
Список публикаций студента	45
Список литературы.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение В.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Г	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Нарушение устойчивости электроэнергетической системы представляет постоянную и серьезную угрозу. Поэтому представляется полезным заблаговременно выявлять признаки изменения условий работы электроэнергетической системы в направлении ухудшения устойчивости.

Одним из наиболее опасных последствий нарушения устойчивости является возникновения асинхронного режима, для недопущения его возникновения и предотвращения применяется автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР). Для корректной и эффективной работы автоматики необходимо устанавливать её на опасных сечениях, строящихся по электрическим центрам качаний (ЭЦК).

Целью данной работы является оценка эффективности методов определения ЭЦК, выявления наиболее практичного из них и составлению доступной и понятной методики по определению ЭЦК.

Достижение поставленных целей достигается решением следующих задач:

- Обзор литературы по тематикам АР и ЭЦК;
- Обзор существующих способов определения ЭЦК в электрической сети при возникновении асинхронного хода в энергосистеме;
- Оценка методов с точки зрения точности и простоты определения электрического центра качаний;
- Выявления наиболее подходящего метода для практических целей, например, для расчета мест установки АЛАР и расположения ЭЦК, и теоретических целей, например, обучения в учебных заведениях и местах повышения квалификации, целей;
- Выявление путей совершенствования существующих методов.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и

содержание основного раздела в рамках выпускной квалификационной работы.

1. ПОНЯТИЯ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА КАЧАНИЙ

1.1 Понятие асинхронный режим

Возникающие при нарушении устойчивости аварийные, в том числе асинхронные режимы представляет серьезную опасность для энергосистемы, так как могут привести к развитию аварии и обесточиванию ответственных потребителей. Рассмотрим подробнее асинхронный режим.

Асинхронные режим (АР) – есть следствие нарушение статической или динамической устойчивости [1], которое может быть вызвано:

- перегрузкой транзитных связей мощностями сверх максимально допустимых по устойчивости величин;
- отказом выключателей или защит при КЗ в электросетях;
- отказом или недостаточной эффективностью ПА;
- несинхронным включением связей или генераторов;
- потерей возбуждения мощных генераторов;
- работой энергосистемы с недопустимо низким напряжением на генераторах и в основной сети;
- аварийным отключением большой мощности;
- отключением одного или нескольких загруженных сетевых элементов сечений основной сети;
- работой с недопустимо низкой частотой;
- сочетанием нескольких факторов[2].

Таким образом выделяют два вида АР, с потерей возбуждения на генераторе и без потери возбуждения, второй случай также называют асинхронным ходом. Рассмотрим подробнее режим работы при асинхронном ходе.

Физическая суть АР заключается в том, что движение роторов синхронных машин одной группы (отдельных генераторов, всех генераторов электростанций, энергосистем, синхронных двигателей) происходит с угловой скоростью, отличающейся от угловой скорости движения роторов синхронных машин другой группы (энергосистемы, объединенной энергосистемы)

АР характеризуется:

- Устойчивыми глубокими колебаниями напряжения, токов и мощностей;
- Изменением взаимного угла ЭДС генераторов хотя бы с одной из электростанций по отношению к ЭДС генераторов любой другой электростанции энергосистемы на угол, превышающий 360 град;
- Возникновением разности частот между частями синхронной зоны, вышедшими из синхронизма, при сохранении электрической связи между ними;
- Возникновении дополнительных токов в замкнутых контурах ротора, вызывающих перегрев ротора;
- Возникновение уравнительных токов, сравнимых с токами КЗ;
- Падения напряжения в сети;
- Появлением точки ЭЦК, которая может перемещаться по системе и приводить к самоотключению групп энергопринимающих установок потребителей, оказавшихся вблизи ЭЦК, и отключением ответственных механизмов собственных нужд электростанций;
- Изменение направления перетока реактивной мощности [2].

Таким образом возникающие процессы в асинхронном режиме несут опасность как для всей энергосистемы, так и для отдельных её частей. Поэтому для предотвращения развития аварий и обесточивания ответственных

потребителей в настоящее время широко применяется автоматика предотвращения нарушения устойчивости, делительная автоматика и другие средства противоаварийной автоматики.

Для корректной работы делительной автоматики необходимо устанавливать её на опасных сечениях, образующихся при возникновении асинхронного режима. Данные сечения образуются совокупностью ЭЦК, расположенных на параллельных элементах системы.

Данная работа посвящена разработке оптимального способа определения электрического центра качания (ЭЦК), при возникновении асинхронного режима (АР). Рассмотрим подробнее процессы происходящие в ЭС при возникновении АР, на примере одномашинной ЭС.

1.2 Асинхронный режим в одномашинной энергосистеме

Будем рассматривать левую группу синхронных машин как электростанцию, правую, как объединенную энергосистему. Связь между ними будем рассматривать в электрических расстояниях, например, в виде сопротивлений, в состав которых могут входить ВЛ, сопротивления трансформаторов, других элементов и, конечно, самих синхронных машин. Выберем на некотором электрическом расстоянии от электростанции (L1) точку, где нас будет интересовать напряжение. До электрической системы расстояние будет L2.

В нормальном режиме движение роторов всех синхронных машин происходит с одной и той же скоростью, которую называют синхронной скоростью. При этом допускается небольшое отклонение скорости отдельных синхронных машин или их групп, но увеличение не переходящее в асинхронный ход и с последующим затуханием этого процесса. Такие явления называются синхронными качаниями [1].

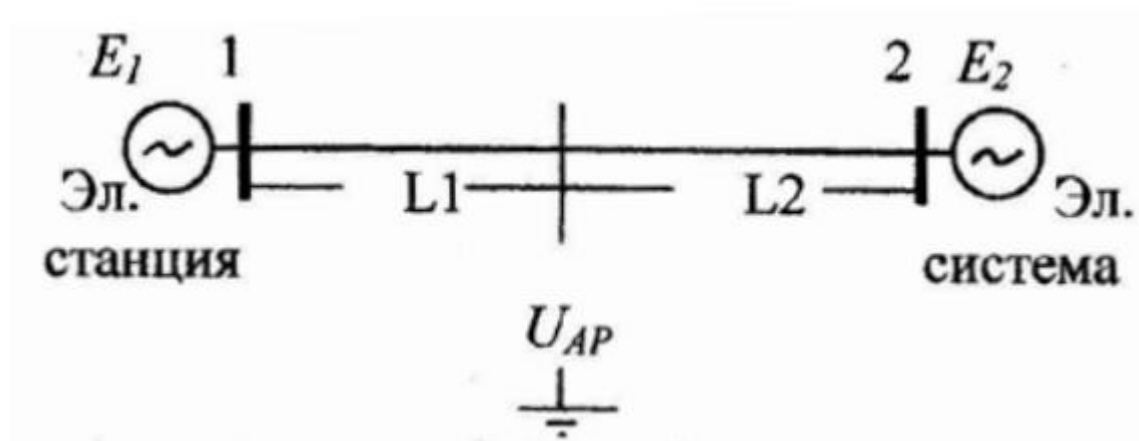


Рис. 1 – Модель рассматриваемой Одномашинной энергосистемы.

Предположим, что электростанция передает в энергосистему определенную мощность. Эта мощность определяется:

$$P = \frac{E_1 \cdot E_2}{X} \cdot \sin \delta, \quad (1)$$

где P – мощность передаваемая по линии, МВт;

E_1 –модуль значения ЭДС станции, кВ;

E_2 – модуль значения ЭДС системы, кВ

X – результирующее, эквивалентное сопротивление между электростанцией и энергосистемой;

δ – взаимный угол ЭДС станции и системы.

Эквивалентное сопротивление между электростанцией и энергосистемой, разбивается на два участка:

$$X = X_{L1} + X_{L2}, \quad (2)$$

где X_{L1} – реактивное сопротивлении участка L1, ом;

X_{L2} – реактивное сопротивлении участка L2, ом.

Векторная диаграмма рассматриваемой схемы изображена на рисунке

2.

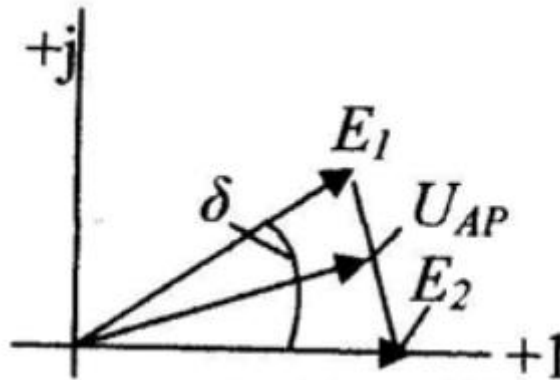


Рисунок 2 – Векторная диаграмма Одномашинной системы в нормальном режиме

Поскольку вектор ЭДС энергосистемы направлен по действительной оси, вектор ЭДС электростанции удобно представить с помощью показательной функции

$$\dot{E}_1(\delta) = E_1 \cdot e^{j\delta}. \quad (3)$$

С некоторой погрешностью можно определить ток, циркулирующий между электростанцией и энергосистемой:

$$\dot{I} = \frac{E_2 - \dot{E}_1(\delta)}{X} = \frac{E_2 - E_1 \cdot e^{j\delta}}{X}. \quad (4)$$

Зная величину тока, согласно [1] величину напряжения в интересующем месте можно определить как:

$$\dot{U}_{AP} = \frac{X_{L1} \cdot E_2 + X_{L2} \cdot E_1 \cdot e^{j\delta}}{X}. \quad (5)$$

Перемещая точку измерения напряжения, можно найти такую точку, где напряжение минимально. Такая точка называется точкой минимального напряжения (ТМН). Если говорить об электрических расстояниях, ТМН находится как раз в середине: $X_{L1} = X_{L2}$.

Далее перейдем от нормального режима к АР, в новых условиях угол δ будет постоянно меняться. Рассматривая изменение напряжения в точке ТМН для различных при различных значениях угла δ была получена векторная диаграмма напряжений приведённая на рисунке 3.

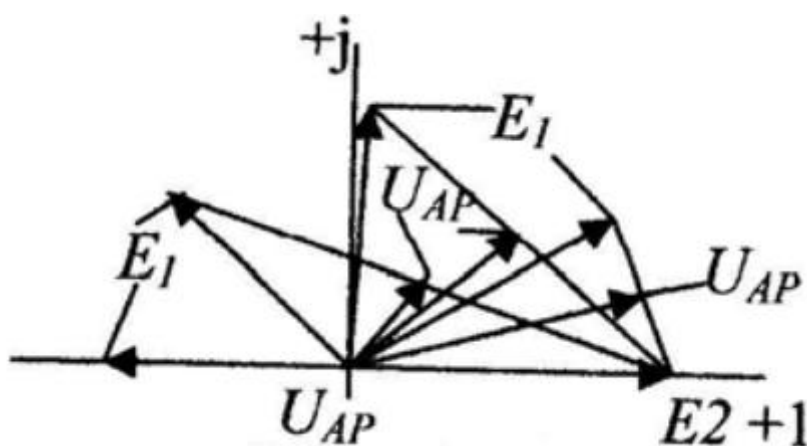


Рисунок 3 – Векторная диаграмма напряжений при различных значениях угла δ

Для каждого значения угла определена величина напряжения в центре качаний. Замечаем, что с увеличением угла δ напряжение в центре качаний уменьшается, при $\delta = 180^0$ оно становится равным нулю. Покажем изменение напряжение для точки ЭЦК и тока в сети при АР графически на рисунке 4.

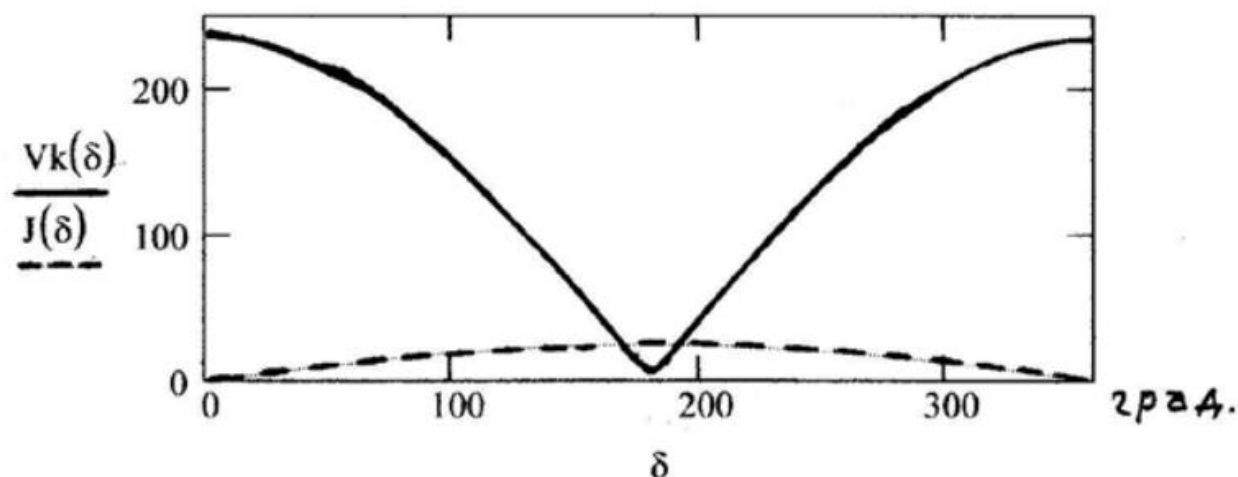


Рисунок 4 – График изменения напряжения и тока в сети при АР

Из приведенного графика видно, что напряжение в центре качаний достигает нуля при угле $\delta = 180^\circ$, при этом же угле ток асинхронного хода достигает максимума, по величине он соизмерим с током короткого замыкания в этом же месте (центре качаний). Таким образом асинхронный режим является недопустимым, рассмотрим подробнее пути борьбы с АР.

Для борьбы с АР возможно выполнение следующих мероприятий:

1. Снижение активной мощности генераторов, которые вышли из синхронизма и работают в асинхронном режиме;
2. Форсирование тока возбуждения генераторов, что приводит к увеличению их ЭДС и, следовательно, к более жесткой привязке к энергосистеме, а также снижению колебаний напряжения [3];
3. Средствами противоаварийной автоматики, которая может отключать генераторы или нагрузку, а в случае необходимости производить деление энергосистемы на синхронно работающие части [2].

Успешная борьба с асинхронным режимом может привести к восстановлению нормального синхронного режима. Такое явление называется ресинхронизацией.

Рассматривая изменения угла движения ротора генератора при АР, видно, что угол периодически проходит через ноль (или через угол 360°). Именно в этот момент появляется возможность ресинхронизации. Однако, для осуществления успешной ресинхронизации необходимо, чтобы площадка ускорения была меньше площадки торможения. В этих условиях площадка ускорения исчисляется от угла $\delta = 0^0$ (точнее от $n \cdot 360^\circ$), что усложняет процесс ресинхронизации. Поэтому для облегчения ресинхронизации выполняют снижение мощности турбины и форсирование тока возбуждения генератора.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЦК

Как уже отмечалось ранее для оценки состояния текущего режима и проведения быстрых и эффективных мер по ликвидации аварийных режимов, а также при решении задач проектирования и модернизации противоаварийной автоматики необходимо знать о слабых участках сети (слабых связях), входящих в состав опасных сечений.

Одним из первых шагов в решении этих задач, является выявления этих слабых участков и точек ЭЦК, входящих в их состав. В данной работе рассмотрено 5 способов определения места ЭЦК, т.е. электрической и географической удалённости ЭЦК от одной из рассматриваемых шин.

Рассматриваемые способы определения ЭЦК:

1. С помощью программного комплекса DAKAR;
2. Метод ТМН;
3. Метод определения ЭЦК по режимным параметрам (тока и напряжения) в АР;
4. С помощью программного комплекса Mustang и сопротивлений линий в АР;
5. С помощью годографа сопротивлений.

2.1 Определение ЭЦК в ПК DAKAR

Комплекс DAKAR предназначен для:

- расчета и анализа установившихся нормальных, предельных и послеаварийных режимов работы электрических сетей напряжением 0,4÷1150 кВ;

- электромеханических переходных процессов (анализ устойчивости) электроэнергетических систем с учетом действия любых устройств автоматики;
- анализа реакции теплосилового оборудования электрических станций [4].

Причиной по которой был выбран ПК DAKAR, является то что данный программный комплекс при возникновении АР показывает расположение ЭЦК на линии, указывая время появления и линию.

Таким образом ПК позволяет моделировать ЭС и даёт возможность определить место ЭЦК с наибольшей точностью. Так как никакой другой способ рассмотренный в данной работе не является более целостным, результаты данного метода были приняты за эталонные и точность остальных методов определялась относительно текущего метода. Рассмотрим также другие достоинства ПК DAKAR, позволяющим упростить процесс определения ЭЦК.

Одним из достоинств ПК является встроенная информационная база данных (ИБД) и программные средства (ПС) работы с ней. Информационная база состоит из данных об электрической схеме сети и ее режимах, а также оборудовании энергосистемы и нормативно-справочная информация.

Другим достоинством DAKAR является возможность обмена данными с другими программами (или пользователями) через импорт/экспорт, что упрощает обработку данных, при необходимости их вывода из ПК.

Для определения ЭЦК с использованием ПК, были созданы модели ЭС для схем различных конфигураций (одномашинная, двухмашинная соединенная в треугольник и одномашинная с промежуточной нагрузкой). Были рассчитаны установившиеся режимы, проверены модели на статическую и динамическую устойчивость, после чего в ЭС создавалась возмущение (путем отключения одной цепи двухцепной ЛЭП) приводящие к потере устойчивости и возникновению двухчастотного асинхронного хода.

Таким образом проходила первая итерация, направленная на создание и проверку модели ЭС. Для уточнения места расположения ЭЦК на линии с точностью до 1 км, рассматриваемая линия разбивалась на более мелкие участки, таким образом проводя итерационный расчет в каждой последующей итерации уточнялось место ЭЦК.

После определения места ЭЦК с точностью до 5 км, был применен другой подход, при котором на линии задается один узел без нагрузки в пределах этих 5 км, так как последовательно на каждом километре и при попадании точки ЭЦК на этот узел определяется её точное расположение.

Введем два уточнения:

1. Данный узел задается специально для определения места ЭЦК и не имеет нагрузки, так как наличие нагрузки привело бы к смещению точки ЭЦК;

2. ЭЦК способно перемещаться по ЭС и вызывать самоотключение энергопотребителей, чего в рассматриваемой модели не происходит. Это объясняется тем что, схема имеет простую структуру, после возникновения асинхронного хода, путем отключения цепи ЛЭП, никакие другие переключения, приводящие к изменению схемы не производились, вблизи ЭЦК не было подключений энергопотребителей, возникающий двухчастотный режим был устойчив и выдерживал несколько циклов качаний.

Принимая во внимания введенные уточнения, определение ЭЦК с высокой точностью (до 1 км), может быть связано с трудностями в реальных больших энергосистемах и энергообъединениях, по причине перемещения ЭЦК.

Точность в 1 км была задана в исследовательских целях для дальнейшего анализа последующих методов и не несет практической направленности, так как реальные энергосистемы имеют постоянно изменяющийся режим (вследствие изменения нагрузки и генерации), что приводит к перемещению ЭЦК, контроль ведется по целому сечению, а

делительная автоматика устанавливается на целый участок связующий два энергорайона, между которыми возможно возникновение АР.

2.2 Определение ЭЦК по методу ТМН

В данной методике признаком наличия ЭЦК на линии в АР является наличие точки минимального напряжения (ТМН) на данной линии в нормальном режиме.

Важным отличием метода выявления слабых линий на основе анализа ТМН является возможность выявления слабых связей и потенциально опасных сечений задолго до момента наступления потери устойчивости, что позволяет использовать признак наличия ТМН для мониторинга и управления энергосистемой в режиме реального времени.

В работе [5] показано, что для участка линии от узла с напряжением $\dot{U}_0 = U_0 \cdot e^{j \cdot \alpha_0}$ до узла с напряжением $\dot{U} = U \cdot e^{j \cdot \alpha}$ распределение напряжения рассматриваемого участка:

$$\dot{U}(x) = (1 - x) \cdot \dot{U}_0 + x \cdot \dot{U}, \quad (6)$$

где x – реактивное сопротивление рассматриваемого участка, ом;

\dot{U}_0 – полное напряжение в начале участка, кВ;

\dot{U} – полное напряжение в конце участка, кВ.

Схема рассматриваемого участка:

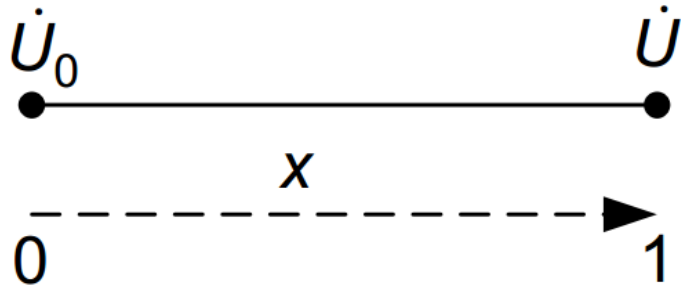


Рисунок 5 – Участок однородной линии

При этом величина квадрата модуля напряжения будет иметь минимум в точке:

$$x_{\min} = \frac{1 - v \cdot \psi}{1 - 2 \cdot v \cdot \psi + v^2}, \quad (7)$$

где x_{\min}^* – электрическая удалённость точки ТМН, ом;

$$v = \frac{U}{U_0};$$

$$\psi = \cos(\delta) \in [-1; 1]; \quad (8)$$

$$\delta = \alpha - \alpha_0.$$

,

а величина напряжения в ТМН:

$$v_x^2 = v^2 \frac{1 - \psi^2}{1 - 2 \cdot v \cdot \psi + v^2}, \quad (9)$$

где v_x^2 – значение модуля квадрата напряжение в точке ТМН.

Условие попадания ТМН на рассматриваемый участок: $x_{\min} \in [0; 1]$.

Рассматривая ТМН с нулевым значением напряжения, т.е. переходя к ЭЦК и принимая условия $\delta = 180^\circ$ при произвольной величине ν положение ТМН будет определяться по упрощённой формуле:

$$x_{\text{ЭЦК}} = \frac{1}{1 + \nu}. \quad (10)$$

Таким образом, при провороте векторов \dot{U}_0, \dot{U} при асинхронном ходе в момент, когда угол между напряжениями участка достигает 180° , ТМН совмещается с точкой электрического центра качаний.

При меньшем угле разворота векторов напряжений наличие ТМН может рассматриваться в качестве указателя на линию с ЭЦК. Диаграмма распределения напряжения вдоль ЛЭП представлена на рисунке 6.

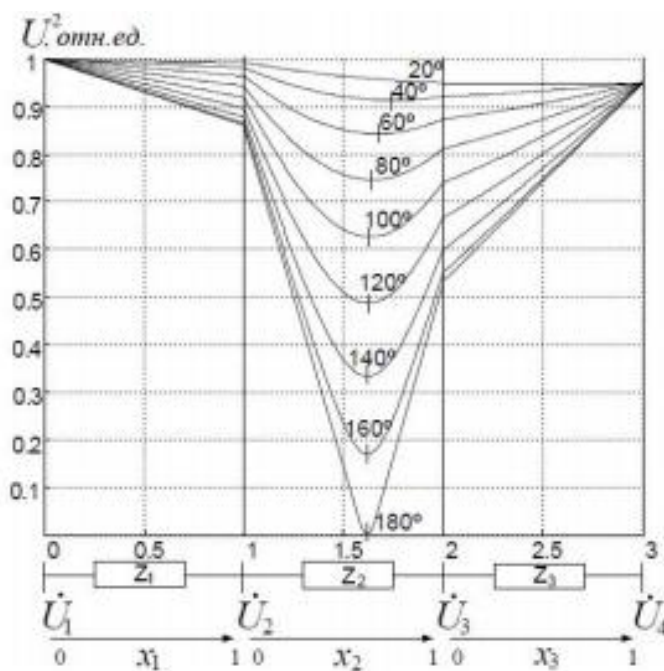


Рисунок 6 – Диаграмма распределения напряжения вдоль ЛЭП

Из диаграммы видно, что величина квадрата напряжения на участках Z_1 и Z_3 изменяется практически линейно, а на участке Z_2 , начиная с некоторой величины угла разворота ЭДС, обладает характерной особенностью – наличием минимума квадрата модуля напряжения.

Положение ТМН определяется структурой и параметрами схемы. ТМН выявляется уже при относительно небольших углах разворота и задолго до достижения напряжения абсолютного минимума напряжения в точке ЭЦК [5].

Географическая удаленность ТМН определяется по следующей формуле:

$$l_{\min} = x_{\min} \cdot l. \quad (11)$$

Географическая удаленность ЭЦК в свою очередь, определяется по следующей формуле:

$$l_{\text{ЭЦК}} = x_{\text{ЭЦК}} \cdot l. \quad (12)$$

Возникает вопрос о правомерности применения данного метода на линиях с промежуточной нагрузкой, смежных участках однородных и неоднородных линий.

Так при смежных однородных линиях, определение места ЭЦК может вестись как для каждого участка смежной линии, так и для всего участка однородной линии в целом, что является более целесообразно и подтверждено проделанными в работе расчетами.

Если же рассматриваются смежные неоднородные линии, пример линии показан на рисунке 7, то согласно [6], определение места ЭЦК необходимо вести отдельно для каждого из смежных участков, т.е. последовательно рассмотреть участки Z_1 и Z_2 .

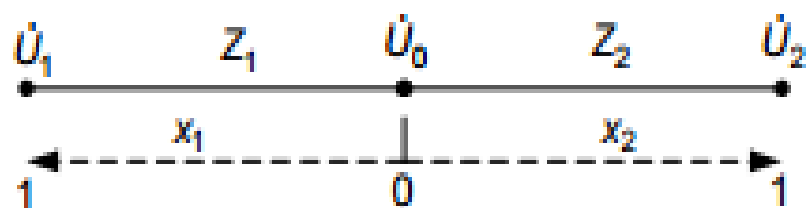


Рисунок 7 – Смежный участок неоднородной линии

Наличие же промежуточной нагрузки не влияет непосредственно на методику определения ЭЦК на смежных участках линии, но приводит к смещению места расположения ЭЦК.

2.3 Определение ЭЦК с помощью режимных параметров в АР

При возникновении АР в ЭС, устойчивые наблюдаются глубокие колебаниями напряжения, токов и мощностей. Данный метод направлен на определения ЭЦК в АР исходя из токов и напряжений. Электрическую удаленность, т.е. сопротивление линии при угле $\delta = 180^0$, ЭЦК от одной из шин согласно [7] находится по формуле:

$$z_{\text{ЭЦК}} = \frac{|\dot{U}|}{|\dot{I}|}, \quad (13)$$

где $x_{\text{ЭЦК}}$ – электрическая удаленность ЭЦК, ом;

\dot{U} – фазное значение напряжения на шине линии с ЭЦК, кВ;

\dot{I} – ток протекающий по линии, А.

Определив электрическую удаленность ЭЦК от шины, необходимо определить её географическую удаленность, т.е. определить на каком километре линии находится ЭЦК. Для этого необходимо определить сопротивление ЛЭП в нормальном режиме, и составить соотношение. Сопротивление линии в нормальном режиме определяется по формуле:

$$z_l = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(r_0 \cdot l)^2 + (x_0 \cdot l)^2}, \quad (14)$$

где z_l – сопротивление линии в нормальном режиме, ом;

r_0 – погонное сопротивление линии, ом/км;

x_0 – погонное сопротивление линии, ом/км;

l – длина линии, км.

Географическая удаленность ЭЦК определяется по формуле:

$$l_{\text{ЭЦК}} = \frac{z_{\text{ЭЦК}}}{z_{\text{л}}} \cdot l, \quad (15)$$

где $l_{\text{ЭЦК}}$ – географическая удаленность места ЭЦК от шины, км.

2.4 Определение ЭЦК с помощью программного комплекса Mustang и полного сопротивления линий в АР

В случае известных значений полного сопротивления линии во время переходного процесса, электрическая удаленность точки ЭЦК будет определяться минимальным полным сопротивлением линии, возникающим в момент когда $\delta = 180^0$.

Для получения значения сопротивления линии могут использоваться ПК с возможностью моделирования переходных процессов, например, DAKAR или Mustang. В данной работе для получения значений полного сопротивления линии был использован программный комплекс Mustang из-за возможности непосредственного получения значений полных сопротивлений при совместном контроле угла δ и дальнейшего переноса данных в MS Excel, для более удобной обработки данных.

Для получения значений была проделана следующая работа:

- Моделирование рассматриваемых схем;
- Проверка схемы на устойчивость;
- Моделирование возмущения приводящего к АР;
- Определение минимального значения полного сопротивления

линии при $\delta = 180^0$.

Вследствие наличия нескольких циклов асинхронного хода, для проверки правильности выбора был произведен перенос значений контролируемых параметров схемы в MS Excel с последующей обработкой массива по средствам инструментов MS Excel.

После проверки выяснилось, что значение полного сопротивления линии на разных циклах асинхронного хода, при углах $\delta = n \cdot 180^0$, где $n - 1, 3, 5$ и т.д., имеют различия и как правило минимальное значение наблюдается на первом цикле синхронных качаний. Для большой точности необходимо проверять несколько циклов асинхронного хода. В практических целях может быть использовано значение полного сопротивления первого цикла асинхронного хода.

Географическая удаленность ЭЦК определяется по формуле:

$$l_{\text{ЭЦК}} = l - \frac{z_{\text{ЭЦК}}}{z_{\text{Л}}} \cdot l, \quad (16)$$

В формуле (14) вычитания производится, для того чтобы определить расстояние от шин ШБМ, так как Мустанг считает параметры от узла начала, который в нашем случае является узел Шиной 220 кВ.

2.5 Определение ЭЦК графическим методом с помощью годографа сопротивлений

Последним способом определения ЭЦК представленным в данной работе является определение места ЭЦК с помощью годографа сопротивлений.

Годограф – кривая, соединяющая концы вектора переменной величины, отложенного в разные моменты времени от одной точки [8]. В годографе сопротивлений отображено изменение сопротивления во времени,

где по оси ординат отображено изменение реактивного сопротивления, по оси абсцисс изменение активного сопротивления, т.е. вектор, проведенный из начала координат, позволяет получить значение полного сопротивления линии.

Данный метод схож с предыдущим методом, так как также направлен, на получение минимального значения полного сопротивления линии, т.е. сопротивления в момент, когда напряжение в точке ЭЦК равно нулю.

Характерной особенностью этого метода является представление данных в графическом виде и возможность совместного анализа нескольких циклов асинхронного хода.

Исходных данные для построения годографа, т.е. значения активного и реактивного сопротивления линии в различные моменты времени, были получены в ПК Mustang, путем моделирования ЭС и АР в ней с дальнейшим переносом данных в MS Excel, для удобства обработки данных и графического представления.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Темой НТИ является рассмотрение несколько методов определения ЭЦК, их анализ и выявления наиболее оптимального из них.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НТИ.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

- Техничко-экономическое обоснование НТИ;
- планирование научно-исследовательских работ;
- составление бюджета НТИ;
- определение ресурсной эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

4.1 Техничко-экономическое обоснование НТИ

Данное исследование весьма актуально и необходимо с целью определения эффективности, точности и трудозатратности различных методик, с последующим выбором наиболее практичной из них. Выполнение данной работы позволит улучшить подготовку студентов и специалистов во время обучения вследствие изучения ими представленных методик. На основе проделанной работы возможна разработка методических указаний для ИДЗ и лабораторных работ. С другой стороны, результаты данной работы могут применяться в проектных, диспетчерских и управляющих сетевых компаниях

для более полного контроля режима и как следствие большей надежности всей энергосистемы.

Таким образом целевая аудитория представлена достаточно большой аудиторией, начиная с учебных заведений и центров переподготовки и заканчивая отдельными энергетическими и проектировочными компаниями.

4.2 Планирование НТИ

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также проведено распределение исполнителей по видам работ (таблица 7).

Таблица 7 – План научно – технического исследования

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор методик и программных комплексов для работы	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка исходных данных моделей энергосистемы (ЭС)	Инженер
	6	Расчеты установившихся режимов в программном комплексе RastrWin3 Mustang и ДАКАР ЕЛЕКС	Инженер
	7	Расчеты динамической устойчивости ЭС в программных комплексах Mustang и ДАКАР ЕЛЕКС	Инженер
	8	Расчеты асинхронного режима ЭС в программных комплексах Mustang и ДАКАР ЕЛЕКС	Инженер

Продолжение таблицы 7

	9	Определение ЭЦК с помощью программных комплексов Mustang, ДАКАР ЕЛЕКС, Excel и Mathcad	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	10	Описание полученных результатов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Инженер
Разработка технической документации и проектирование	12	Выводы по проделанной работе	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Составление пояснительной записки	Инженер

Трудовые затраты образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (17)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p . Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (18)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Определение трудоемкости работ

№ этапа	Кол-во исполнителей	Продолжительность работ			T_p , чел/дн
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	
1	Руководитель	5	5	5	5
2	Инженер	10	20	14	14
3	Инженер	3	5	3,8	3,8
4	Руководитель, Инженер	5	5	5	2,5
5	Инженер	5	5	5	5
6	Инженер	5	10	7	7
7	Инженер	10	15	12	12
8	Инженер	5	10	7	7
9	Инженер	5	10	7	7
10	Инженер	5	10	7	7
11	Руководитель, Инженер	5	10	7	3,5
12	Инженер	5	10	7	7
13	Инженер	15	30	21	21

На основе таблицы 8 построим план-график. График строится по рабочим дням для пятидневной рабочей недели в рамках научно-исследовательского исследования с разбивкой по месяцам и рабочим неделям (5 дней) за период времени дипломирования. План-график представлен в приложении Г.

Общая продолжительность НИР составила 102 рабочих дня ($T_{\text{раб}}$), при составлении план-графика не учитывались выходные и праздничные дни. Длительность работы руководителя составила 11 рабочих дней, а инженера – 97 рабочих дней.

4.3 Расчет бюджета НТИ

Бюджет рассчитывается, как затраты на приобретение необходимого оборудования для выполнения НТИ и текущие расходы. Затраты на осуществление НТИ рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

$$K_{\text{НТИ}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам. комп. техн}} + I_{\text{з/плл}} + I_{\text{соц. отч.}} + I_{\text{накл. расх.}} \quad (19)$$

4.3.1 Материальные затраты

К материальным затратам относятся приобретаемое со стороны сырье и материалы, запасные части для ремонта оборудования, а также износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов.

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Результаты расчета сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Бумага	Пачка	1	250	250
Картридж для принтера	Шт	1	3500	3500
Набор настольный канцелярский	Шт	1	250	250
Итого				4000

4.3.2 Расходы на оплату труда

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (19)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (20)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 2);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{F_{\text{д}}}, \quad (21)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (21)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Пример расчета заработной платы для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,5) \cdot 1,3 = 70200 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{F_{\text{д}}} = \frac{70200}{21} = 3343 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 3343 \cdot 11 = 36771 \text{ руб.}$$

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб.дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,5	1,3	70200	3343	11	36771
Инженер	15000	0,3	0,4	1,3	33150	1579	97	153121
Итого								189893

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 36771 = 4413 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата для инженера:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 153121 = 18375 \text{ руб.}$$

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 11.

Таблица 11– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	36771	6471
Инженер	153121	18375
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	11161	
Инженер	46475	

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов принимаем равной 16%.

4.3.6 Формирование бюджета затрат НТИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат НТИ, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский НТИ по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные затраты НТИ	4000	1,22
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	189893	58,15
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22787	6,98
4. Отчисления во внебюджетные фонды	57636	17,65
5. Накладные расходы	52251	16,00
6. Бюджет затрат НТИ	326567	100,00

4.4 Определение ресурсной эффективности НТИ

Определение эффективности ведется на основе расчета интегрального показателя ресурсоэффективности рассмотренных методик, показатель определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i,$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности i -ой методики;

a^i - весовой коэффициент i -ой методики;

b^i - бальная оценка i -ой методики.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности согласно рекомендациям, приведен в таблице 13.

Таблица 13 - Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Метод Критерии	Весовой коэффициент	Расчет в ПК	ТМН	Режимные параметры	Годограф
Подготовка данных	0,4	1	4	4	3
Трудозатраты	0,4	3	5	5	4
Точность определения	0,2	5	4	3	3
Итого	1	2,6	4,4	4,2	3,4

Сравнивая значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что определение места ЭЦК методом ТМН, наиболее практично и целесообразно, так как позволяет достаточно точно определить расположение ЭЦК при оптимальных затратах сил на подготовку и расчеты.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было произведено:

1. Определение структуры работы в рамках научного исследования;
2. Определение участников и продолжительности работ, общая продолжительность составила 102 рабочих дня, а также построение план-график проведения научного исследования;
3. Произведен расчет материальных затрат, основной и дополнительной заработной платы, внебюджетных отчислений, а также накладных расходов. Основная часть бюджета ушла на основную заработную плату исполнителям. Общая стоимость НТИ составила 326567 рублей;

4. Определение интегрального показателя эффективности показало, что метод ТМН, используемый в качестве проектного решения в НТИ является наиболее оптимальным и ресурсоэффективным.

Таким образом, задачи, поставленные для осуществления цели раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», выполнены. Показано, что проведенное исследование является эффективным с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Список публикаций студента

1. Корольков Д. П., Будько А. А. Распределенная генерация сегодня и завтра // Интеллектуальные энергосистемы: материалы III Международного молодежного форума. В 3 т., Томск, 28 Сентября-2 Октября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 3 - С. 23-26
2. Корольков Д. П., Будько А. А. Анализ внедрения систем распределенной генерации на базе ГТУ-ТЭЦ в России // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III Российской молодежной научной школы-конференции, Томск, 21-23 Октября 2015. - Томск: Скан, 2015 - С. 176-178
3. Будько А. А., Корольков Д. П. Создание модели обмотки низкого напряжения силового трансформатора ТРДН-25000/110 [Электронный ресурс] // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, Томск, 22-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 142-144. - Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C08/C08.pdf>